

การศึกษาการบำบัดสีน้ำตาลเชื่อมอ้อยด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

A Study of Decolorization of Sugar Cane Syrup Using Electrolysis Process

วัชรวิษณุ ดาอสว่าง (Wacharawish Daosawang)^{1*} กิมะ วิจิตรเฉลิมพงษ์ (Pima Wichitchaloempong)**

(Received: April 30, 2018; Revised: June 22, 2018; Accepted: June 27, 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยการศึกษาการลดค่าสีน้ำตาลเชื่อมอ้อยด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีนี้เป็นการนำเสนอวิธีการบำบัดสีของน้ำตาลเชื่อมอ้อยด้วยไฟฟ้า เพื่อศึกษาวิธีการบำบัดสีของน้ำตาลเชื่อมอ้อยในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในการบำบัดสีของน้ำตาลเชื่อม โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 V กระแสไฟฟ้า 100 mA คายประจุลงในน้ำเชื่อม และน้ำอ้อยสดแล้วนำไปต้ม ปริมาตร 600 ml เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้มีค่าสีที่ดีที่สุดคือ ในกระบวนการการทดลองคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำอ้อยสดแล้วนำไปต้ม ชนิดอิเล็กโทรดที่เป็นอะลูมิเนียม ค่าสีที่ดีที่สุดมีค่า 3,414.00 ICUMSA ซึ่งให้ค่าสีที่ต่ำกว่าการทดลองในสภาวะอื่น ๆ และเมื่อเทียบกับค่าสีของน้ำตาลเชื่อมหรือน้ำตาลมาตรฐานในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่มีค่าสีของ 1,000-3,500 ICUMSA

ABSTRACT

This research presents a study of decolorization of sugar cane syrup using electrolysis process to study the solution for decolorizations, and energy consumption. The experiments use the DC power supply voltage of 12 V, current of 100 mA, and discharge for 1 hours into the 600 ml of sugar syrups, and sugar cane juice before boiling. The experimental results with the best colour values were in the experiments, discharging into sugar cane juice and then boiled, the type of electrode is aluminium. The best colour value was 3,414.00 ICUMSA, the colour values were lower than those in other conditions and compared to the standard colour of syrup or sugar in the raw sugar production process with the colour values of 1,000-3,500 ICUMSA.

คำสำคัญ: การบำบัดสี น้ำเชื่อมอ้อย กระบวนการไฟฟ้าเคมี

Keywords: Decolorization, Sugar cane syrup, Electrolysis process

¹ Correspondent author: wacharawish.d@npu.ac.th

* อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม

** ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายผลิตน้ำตาล โรงงานน้ำตาลมิตรภาพสินธุ์ ตำบลสมสะอาด อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์



บทนำ

ปัจจุบันขบวนการผลิตน้ำตาลทราย [1-2] จากอ้อยนั้นมีขั้นตอน คือการหีบหรือบีบน้ำอ้อยจากลำอ้อย จากนั้นน้ำอ้อยจะถูกส่งไปยังชุดกรองกากหรือเศษอื่น ๆ ที่ติดมากับน้ำอ้อยก่อนส่งไปยังหม้อต้มเพื่อต้มให้น้ำอ้อยได้ค่าความหวานที่เหมาะสมก่อนการเคี้ยวให้เป็นเม็ด เมื่อน้ำอ้อยได้รับการต้มเพื่อระเหยเอาน้ำออกไปบางส่วนแล้วจะได้ค่าความเข้มข้นของน้ำเชื่อมเพิ่มขึ้นและจะทำให้ น้ำเชื่อมมีสีที่เข้มข้นจนต้องมีกระบวนการลดค่าสีของน้ำเชื่อม [3-6] ให้มีความใสขึ้นก่อนส่งไปเคี้ยวให้เป็นผลึกเม็ด แล้วส่งผลึกน้ำตาลที่ได้ปั่นให้น้ำเชื่อมที่ไม่เป็นผลึกออกเหลือไว้เพียงผลึกน้ำตาลทรายที่ต้องการ

กระบวนการลดค่าสีของน้ำตาลให้มีความใสหรือมีความบริสุทธิ์ขึ้นนั้นในอุตสาหกรรมน้ำตาลใช้วิธีการหลายวิธีด้วยกัน หนึ่งในวิธีที่ใช้สำหรับการลดค่าสีน้ำเชื่อมคือการใช้เรซิน [7] สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำเชื่อมเพื่อให้มีค่าสีของน้ำเชื่อมที่ลดลง

การใช้เรซินในการลดค่าสีของน้ำเชื่อม นั้น เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีแลกเปลี่ยนไอออนที่อยู่ในน้ำเชื่อมทำให้เรซินมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลง จึงจำเป็นต้องมีการล้างเรซินเพื่อนำมาใช้งานต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการล้างเรซินนั้นต้องใช้น้ำเกลือในการทำมาสะอาดเรซิน และน้ำเกลือจากกระบวนการล้างเรซินก็ยังคงถูกบำบัดหรือต้องเก็บพักไว้เพื่อรอการบำบัดหรือกำจัดอีกต่อไป ซึ่งต้นทุนในการผลิตน้ำตาลทรายและส่งผลต่อสภาพแวดล้อมในด้านของดินเค็มได้หากเกิดการรั่วไหลของน้ำที่ใช้ล้างเรซินลงสู่ดิน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะการศึกษาวิธีการลดค่าสีของน้ำเชื่อมอ้อย [8-10] ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง [11] แรงดันไฟฟ้า 12-50 V กระแส 0-1 A เพื่อเป็นการศึกษาแนวทางการบำบัดค่าสีของน้ำเชื่อมอ้อยในขบวนการผลิตน้ำตาลทรายด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ลดการใช้น้ำเกลือในกระบวนการล้างเรซินหรือเป็นการยืดอายุการใช้งานเรซินในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

ขั้นตอนการวิจัย

จากการศึกษาขบวนการผลิตน้ำตาลทรายและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจึงได้กำหนดการศึกษาวิธีการบำบัดค่าสีไว้ 2 แบบ คือ

- แบบที่ 1 บำบัดค่าสีของน้ำอ้อยสดก่อนกระบวนการต้มเพื่อระเหยน้ำออก และ
- แบบที่ 2 การบำบัดค่าสีของน้ำเชื่อมอ้อย

ขั้นตอนการวิจัยการศึกษาการบำบัดค่าสีของน้ำเชื่อมอ้อยด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีนั้นจะมีการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าและอิเล็กโทรด เมื่อคายประจุไฟฟ้าลงในของเหลวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นกับของเหลว จากภาพที่ 1(ก) เมื่อให้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับของเหลวผ่านแผ่นอิเล็กโทรดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน [12] (Oxidation-Reduction reaction) หรือเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ ปฏิกิริยาที่รับและให้อิเล็กตรอนกับสาร โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นที่แผ่นอิเล็กโทรดขั้วแอโนด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาที่ให้อิเล็กตรอนกับตัวสารหรือของเหลว และเกิดปฏิกิริยารีดักชันขึ้นที่แผ่นอิเล็กโทรดขั้วแคโทด ปฏิกิริยารีดักชัน คือ ปฏิกิริยาที่รับอิเล็กตรอน

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารหรือของเหลวที่จะทำให้เกิดการสลายองค์ประกอบพันธะเคมีของสารนั้นให้เปลี่ยนรูปไปในสถานะแก๊สและของเหลวที่เหลือ ซึ่งพลังงานที่ใส่เข้าไปในสารหรือของเหลวและความเข้มข้นของสารในของเหลวจะเป็นตัวแปรที่จะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาลงพลังงานไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปในสารจึงเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญต่องานวิจัยนี้

การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ได้อ้อยสดหรือน้ำเชื่อมอ้อยเกิดการตกตะกอน ซึ่งเป็นการแยกพันธะทางเคมีของทั้งน้ำอ้อยสดและน้ำเชื่อมนั้น ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป จึงต้องศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการบำบัดดีเทียบกับปริมาณของน้ำอ้อย ซึ่งสมการพลังงานไฟฟ้า [13] ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

$$P=q \times V \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ P คือ พลังงานไฟฟ้า (จูล; J)

q คือ ประจุไฟฟ้า (คูลอมป์; C)

V คือ ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์; V)

และความสัมพันธ์ของประจุไฟฟ้า q นั้นมีดังนี้

$$q=i \times t \quad \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ i คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์; A)

t คือ เวลา (วินาที; s)

จากสมการพลังงานไฟฟ้าเป็นการพิสูจน์ผลของการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อทำการลดค่าสีของน้ำเชื่อมอ้อยในกระบวนการทดลอง

วัสดุและการทดลอง

การทดลองบำบัดสีน้ำเชื่อมอ้อยด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้านี้ใช้น้ำอ้อยสดและน้ำเชื่อมปริมาณ 600 ml ทดลองในกล่องขนาดความกว้างxยาวxสูง ที่ 10x10x10 cm ใช้แท่งอิเล็กโทรดที่เป็นอะลูมิเนียมและสแตนเลส โดยชุดอุปกรณ์ของการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 1(ข)

จากภาพที่ 1(ข) ชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองและภาพการทดลองจริงกับน้ำอ้อย ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองและใช้อุปกรณ์และเครื่องมือดังนี้

หมายเลข 1 คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 12-50 V กระแสไฟฟ้า 0-1 A

หมายเลข 2 คือ แผ่นตัวนำที่ใช้สำหรับการคายประจุไฟฟ้าที่วางห่างกัน 2 cm ขนาด กว้างxยาวเป็น 3x9 cm โดยศึกษาแผ่นตัวนำด้วยกัน 2 ชนิดคือ อะลูมิเนียม และสแตนเลส

หมายเลข 3 คือ กล่องพลาสติกใสสำหรับบรรจุของเหลวที่มีขนาด 10x10x10 cm

หมายเลข 4 คือ คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการบันทึกผลสัญญาณการตรวจวัดและการบันทึกข้อมูล

นอกจากนี้ยังมีการใช้เครื่องมืออื่น ๆ คือ เครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายหรือ บริกซ์รีแฟรกโตมิเตอร์ 0-32 Brix (Brix Refractometer 0-32 Brix ยี่ห้อ ATC model: bs-01) และบริกซ์รีแฟรกโตมิเตอร์ 28-62 Brix (Brix Refractometer 28-62 Brix ยี่ห้อ ATC model: THE1643) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter ยี่ห้อ ATC model: BI716) เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (TDS EC Temp and Salt meter ยี่ห้อ AZ Instrument model: EC-8361) และเครื่องวัดค่าสี (Single Beam Thermo Spectronic ยี่ห้อ Spectronic Helios model: HELIOS Delta) ใช้ในการวัดและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองคายประจุไฟฟ้าลงไปในน้ำอ้อยและน้ำเชื่อมที่ระดับแรงดันดังที่ได้กล่าวมานั้น ผู้วิจัยจะทำการทดลองซ้ำวิธีการละ 3 ครั้ง แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำเชื่อมที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าสี การทดลองคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำอ้อยสดแล้วจึงนำไปต้ม (ภาพที่ 2) และการคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำเชื่อมอ้อย (ภาพที่ 3) โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้า 12 V กระแสไฟฟ้า 100 mA เป็นพิกัดเริ่มต้นของแหล่งจ่าย คายประจุเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



เพื่อกำหนดให้ตัวแปรในการทดลองมีค่าคงที่ ซึ่งตัวแปรที่มีในการทดลองคือ กระบวนการที่สามารถบำบัดสีของน้ำเชื่อมด้วยไฟฟ้าและชนิดของอิเล็กโทรด

ผลจากการทดลองดังภาพที่ 2 โดยการทดลองคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้มด้วยอิเล็กโทรดอะลูมิเนียม (ภาพที่ 2 (ก)) และคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้มด้วยอิเล็กโทรดสแตนเลส (ภาพที่ 2 (ข)) โดยคายประจุลงในน้ำอ้อยสดแล้วจึงพักน้ำอ้อยไว้ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำอ้อยไปต้มให้ได้น้ำเชื่อมที่ความเข้มข้น 55-60 Brix และวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่องมือวัดดังข้อมูลในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

การทดลองคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำเชื่อมอ้อยที่มีความเข้มข้น 50-55 Brix ด้วยอิเล็กโทรดอะลูมิเนียม (ภาพที่ 3 (ก)) และคายประจุลงในน้ำเชื่อมอ้อยด้วยอิเล็กโทรดสแตนเลส (ภาพที่ 3 (ข)) พักไว้ 3 ชั่วโมงแล้วจึงนำน้ำเชื่อมที่ได้ไปวัดด้วยเครื่องมือวัดเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในการศึกษาการบำบัดค่าสีของน้ำเชื่อมทั้ง 2 วิธี และอิเล็กโทรดทั้ง 2 ชนิด เมื่อนำมาทำการแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยกราฟดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 โดยภาพที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบการบำบัดค่าสีในการทดลองคายประจุลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้ม ผลที่ได้คืออิเล็กโทรดอะลูมิเนียมสามารถบำบัดค่าสีน้ำเชื่อมได้ดีกว่าสแตนเลสมีค่าสีเฉลี่ยเป็น 3,414.00 ICUMSA และภาพที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองคายประจุลงในน้ำเชื่อมอ้อย ผลที่ได้คืออิเล็กโทรดอะลูมิเนียมสามารถบำบัดสีของน้ำเชื่อมได้ดีกว่าสแตนเลสมีค่าสีเฉลี่ยเป็น 4,073.00 ICUMSA และเมื่อเปรียบเทียบผลการบำบัดค่าสีของทั้ง 2 การทดลอง ผลที่ได้คือ การคายประจุลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้มสามารถบำบัดสีได้ดีกว่าการคายประจุลงในน้ำเชื่อม

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยการศึกษาวิธีการลดค่าสีน้ำเชื่อมอ้อยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีนี้เพื่อศึกษาการบำบัดสีของน้ำเชื่อมโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งผลจากการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 12 – 50 V ที่กระแสไฟฟ้า 0 – 0.1 A จากผลการทดลองสามารถบำบัดสีของน้ำเชื่อมอ้อย

จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า การบำบัดสีของน้ำเชื่อมอ้อยด้วยไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ 12V กระแสไฟฟ้า 100 mA นั้นสามารถบำบัดสีได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการทดลองเพียง 1.2 W-h โดยผลการทดลองมีค่าสีที่ดีที่สุดคือการทดลองคายประจุไฟฟ้าลงในน้ำอ้อยสดแล้วนำไปต้มชนิดอิเล็กโทรดที่เป็นอะลูมิเนียมค่าสีที่ดีที่สุดมีค่า 3,414.00 ICUMSA ซึ่งให้ค่าสีที่ต่ำกว่าการทดลองในสภาวะอื่น ๆ และเมื่อเทียบกับค่าสีของน้ำเชื่อมหรือน้ำตาลมาตรฐานในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ [14-15] ที่มีค่าสีของ 1,000-3,500 ICUMSA

ผลจากการทดลองการคายประจุลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้มให้ค่าสีที่ต่ำกว่าการทดลองคายประจุลงในน้ำเชื่อมนั้นเนื่องจาก การคายประจุลงในน้ำอ้อยสดทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำอ้อยสดและมีการแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำอ้อยสดเช่นเดียวกับกระบวนการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำเชื่อมเพื่อลดค่าสี และค่าสีของอิเล็กโทรดในแต่ละชนิดให้ค่าสีที่ไม่เท่ากันเนื่องจากในกระบวนการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน จะทำให้โลหะสลายตัวปะปนลงในน้ำอ้อยหรือน้ำเชื่อมซึ่งสแตนเลสมีส่วนผสมของเหล็กจึงทำให้มีค่าสีที่สูงกว่าอะลูมิเนียม

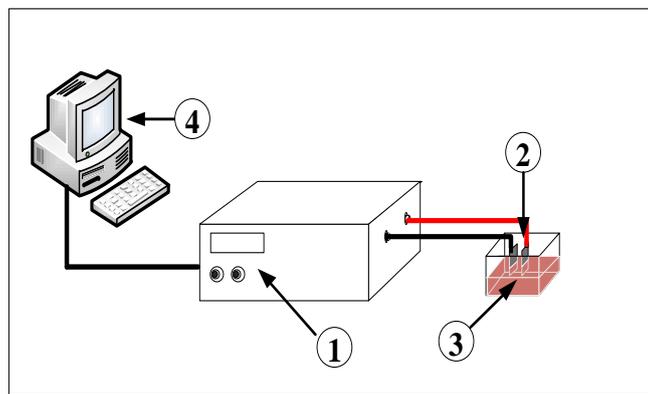
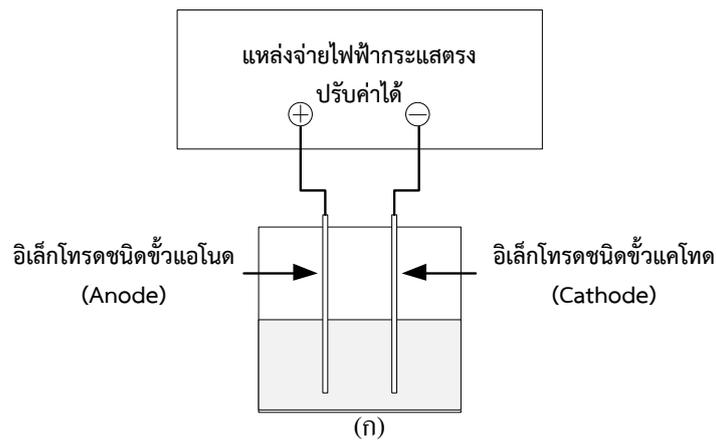
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนทุนพัฒนานักวิจัยหน้าใหม่จากกองทุนวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2560 มหาวิทยาลัยนครพนม

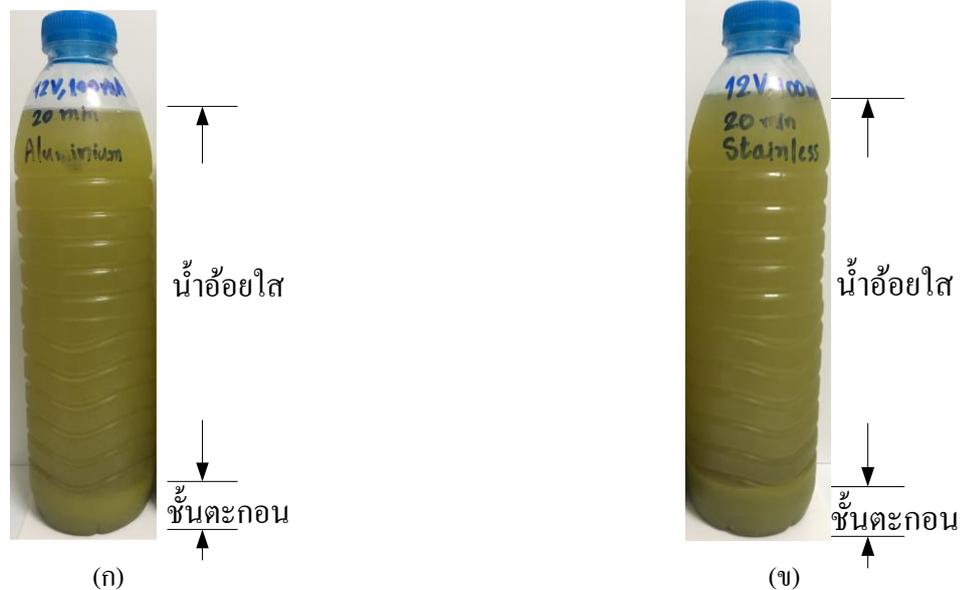


เอกสารอ้างอิง

1. Khotavivattana S. Sugar Technology. Thailand: Kasetsart University; 2546.
2. Thai Sugar Millers Corporation Limited. Sugar Manufactory Process. [Internet] 2018 Available from <http://www.thaisugarmillers.com/tsmc-02-02.html>
3. Okuno M, Tamaki H. A Novel Technique for the Decolorization of Sugarcane Juice. *Journal of Food Science*. 2002; 67(1): 236-238.
4. Rajneesh Dwivedi. and Zulfiqarali Impact of Electrolytic Clarification on Turbidity of Cane Juice. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences: JCBPS*. 2015; 5(3). 2762-2772.
5. Mudoga HL, Yucel H, Kincal NS. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. *Bioresource Technology*. 2008; 99(9). 3528-3533.
6. Saska M, Zossi BS, Liu H. Removal of colour in sugar cane juice clarification by defecation, sulfitation and carbonation. *International Sugar Journal*. 2010; 112(1337). 26-33.
7. Barakat MA, Ismat-Shah S. Utilization of anion exchange resin Spectra/Gel. *Arabian Journal of Chemistry*. 2013; 6(1). 307-311.
8. Ihara I, Kanamura K, Shimada E, Watanabe T. High Gradient Magnetic Separation Combined With Electrocoagulation and Electrochemical Oxidation. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity for the Treatment of Landfill Leachate*, June 2004; pp.1558-1560.
9. Yano T, Shimomura N, Uchiyama I, Fukawa F, Teranishi K. Decolorization of Indigo Carmine Solution Using Nanosecond Pulsed Power. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. August 2009; 16(4). 1081-1087.
10. Lekhajaroenkul T, Supapa S, Yanpirat P. Technical and Economic Feasibility analysis on the installation of purified water system by Electrical Ion Discharger instead of Ion Resin Exchanger a case study of purified water plant generation system for Pharmaceutical Process. *Kasem Bundit Engineering Journal*. 6(2); 50-71.
11. Daosawang W, Sombot P. DC Pulse Power Supply for Electrocoagulation in Water treatment. *Naresuan University Journal: Science and Technology*. 2017; 25(1).
12. Mahachai R. *Electroanalytical Chemistry Techniques*. Thailand: KKU Printing. 2557.
13. Robert G. Brown. *Introductory Physics II Electricity, Magnetism and Optics*. [Internet] 2001 Available from https://webhome.phy.duke.edu/~rgb/Class/intro_physics_2/intro_physics_2.a4.pdf
14. Mitr Phol Sugar Corp., Ltd. *Standard Physical SpecRaw Sugar*. [Internet] 2013 Available from https://www.mitrphol.com/sugar/product_business.php?id=20
15. Eastern Sugar And Cane Public Company Limited. *Brown. Raw Sugar*. [Internet] 2015 Available from <http://www.esgroup.co.th/th/business/sugar>



ภาพที่ 1 (ก) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับของเหลวผ่านแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสอง (ข) อุปกรณ์สำหรับการทดลอง



ภาพที่ 2 (ก) น้ำอ้อยสดหลังการทดลองคายประจุก่อนนำไปต้มที่ใช้อิเล็กโทรดอะลูมิเนียม (ข) น้ำอ้อยสดหลังการทดลองคายประจุก่อนนำไปต้มที่ใช้อิเล็กโทรดสแตนเลส

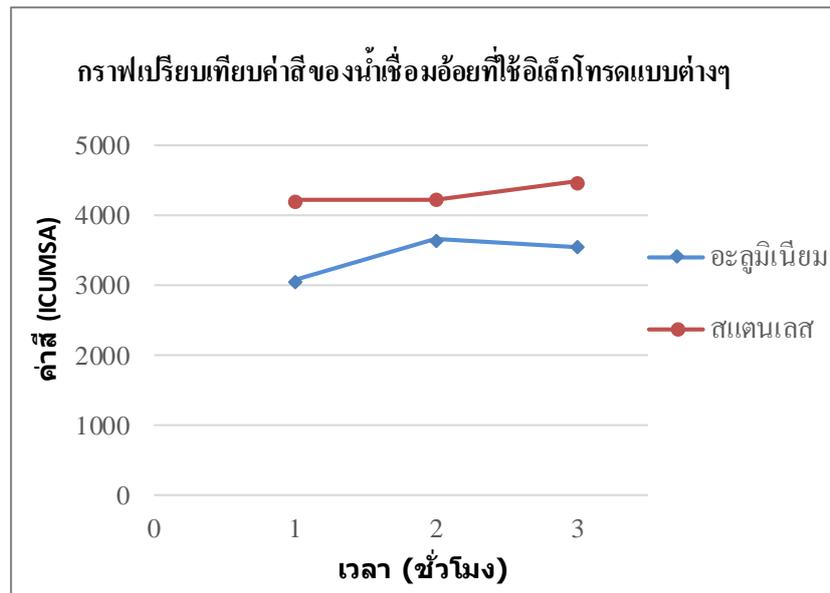


(ก)

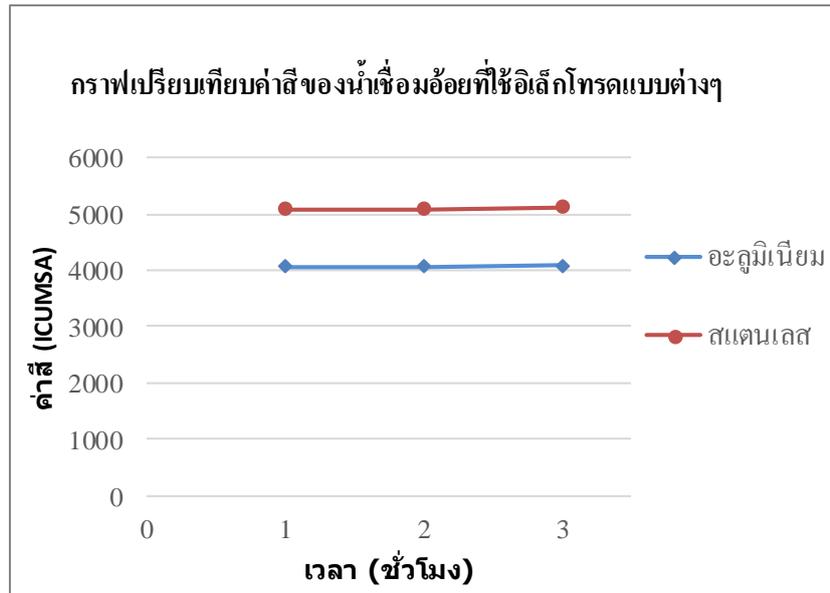


(ข)

ภาพที่ 3 (ก) น้ำเชื่อมอ้อยหลังการทดลองคายประจุก่อนนำไปต้มที่ใช้อิเล็กโทรดอะลูมิเนียม (ข) น้ำเชื่อมอ้อยหลังการทดลองคายประจุก่อนนำไปต้มที่ใช้อิเล็กโทรดสแตนเลส



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบค่าสีของการทดลองคายประจุลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้ม



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าสีของการทดลองคายประจุลงในน้ำเชื่อมอ้อย

ตารางที่ 1 ข้อมูลการคายประจุลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้มใช้อิเล็กโทรดอะลูมิเนียม

No.	Before Discharge			Colour	After Discharge			Colour
	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMSA)	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMCA)
1	24.00	1,680.00	5.30	11,000	54.67	1,623.00	5.50	3,056.00
2	23.00	2,220.00	5.40	11,000	60.27	2,030.00	5.30	3,642.00
3	23.00	1,718.00	5.30	11,000	55.69	1,700.00	5.70	3,544.00
Avg.	23.33	1,872.67	5.33	11,000	56.88	1,784.33	5.50	3,414.00

ตารางที่ 2 ข้อมูลการคายประจุลงในน้ำอ้อยสดก่อนนำไปต้มใช้อิเล็กโทรดสแตนเลส

No.	Before Discharge			Colour	After Discharge			Colour
	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMSA)	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMCA)
1	23.00	1,758.00	5.60	11,000	55.01	1,763.00	5.60	4,203.00
2	23.20	1,684.00	5.40	11,000	54.17	1,691.00	5.60	4,219.00
3	22.40	2,260.00	5.10	11,000	51.23	2,230.00	5.10	4,460.00
Avg.	22.87	1,900.67	5.37	11,000	53.47	1,894.67	5.43	4,294.00



ตารางที่ 3 ข้อมูลการคายประจุลงในน้ำเชื่อมอ้อยที่ไซอิเล็กโทรดอะลูมิเนียม

No.	Before Discharge			Colour	After Discharge			Colour
	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMSA)	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMCA)
1	52.20	648.00	5.20	13,000	52.50	614.00	5.20	4,069.00
2	51.80	1,023.00	5.10	13,000	51.80	978.00	5.20	4,072.00
3	50.80	1,125.00	5.20	13,000	50.80	994.00	5.20	4,078.00
Avg.	51.60	932.00	5.17	13,000	51.70	862.00	5.20	4,073.00

ตารางที่ 4 ข้อมูลการคายประจุลงในน้ำเชื่อมอ้อยที่ไซอิเล็กโทรดสแตนเลส

No.	Before Discharge			Colour	After Discharge			Colour
	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMSA)	Brix	EC (μ S)	pH	(ICUMCA)
1	52.00	1,098.00	5.00	13,000	52.00	1,000.00	5.00	5,086.00
2	51.40	1,040.00	5.10	13,000	51.40	996.00	5.10	5,079.00
3	50.80	1,125.00	5.20	13,000	50.80	994.00	5.20	5,123.00
Avg.	51.40	1,087.67	5.10	13,000	51.40	996.67	5.10	5,096.00